

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu diambil dari berbagai sumber yang relevan dan dapat dipercaya. Data-data tersebut diambil dari berbagai sumber berupa buku-buku pelajaran, peraturan-peraturan yang berlaku saat ini, skripsi, thesis, dan jurnal-jurnal ilmiah penelitian yang berguna mendukung dalam penelitian saat ini dan penelitian selanjutnya.

Dalam hal ini, peneliti menjadikan penelitian terkait metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus sebagai acuan dalam pengerjaan Tugas Akhir tentang "Perencanaan Dan Analisis Kinerja Struktur Bangunan POP Hotel Tanjung Bena Bali". Berikut penyajian beberapa penelitian terdahulu dalam **Tabel 2.1** Berikut adalah tabelnya:

**Tabel 2.1a** Penelitian Terdahulu

Nama	Jurnal	Judul	Metode	Hasil
Ima Mujiati, Benjamin Lumantarna, Reynaldo P. Intan, dan Arygianny Valentino	Science Direct, Tahun 2017, Nomor 1019-1024	<i>Performance of Direct Displacement Based Design on Regular Concrete Building Against Indonesian Response Spectrum</i>	<i>Direct displacement based design, non-linear time history, Response Spectrum Method</i>	Studi kasus gedung beton bertulang
				RS-Jayapura balok bertahan dalam jangka waktu gempa periode 10000 tahun. RS-Surabaya hasil semua balok dalam keadaan <i>life safety</i>
				RS-Jayapura kolom bertahan dalam jangka waktu gempa periode 10000 tahun. RS-Surabaya kolom dalam keadaan <i>life safety</i> dalam jangka waktu gempa 500 tahun. lebih dari itu dalam keadaan <i>collapse prevention</i> .

(Sumber: Hasil Olahan Pribadi)

**Tabel 2.1b** Penelitian Terdahulu

Nama	Jurnal	Judul	Metode	Hasil
Zaid Mohammad, Abdul Baqi, dan Mohammed Arif	Science Direct, Tahun 2017, Nomor 1792-1799	<i>Seismic Response of RC Framed Buildings Resisting on Hill Slopes</i>	<i>Response Spectrum Method</i>	<i>Top Storey displacement</i> = dari 4,29 mm menjadi 6,64 mm.
				Geser pada dasar kolom sangat signifikan, berada minimum 18,89 kN sampai 105,24 kN pada maksimum nilai.
Alextron Hutabarat, Arcito Bayu Praditya, Sri Tudjiono dan Ilham Nurhuda	UNDIP, Volume 4, Nomor 1, Tahun 2015, Halaman 48-55	Perencanaan Struktur Gedung Kuliah Utama Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang	SRPMK dan beban gempa <i>Response Spectrum</i>	Dimensi balok: Dtul utama D22, Dsengkang D10-100mm

(Sumber: Hasil Olahan Pribadi)

## 2.2 Gempa Bumi

Indonesia merupakan salah satu Negara yang memiliki risiko tinggi terhadap kejadian gempa bumi. Hal ini sebagai akibat interaksi antara tiga lempeng raksasa yang mengelilingi Indonesia, yaitu Lempeng Samudra Indo-Australia, Lempeng Eurasia, Lempeng Samudra Pasifik. Gempa bumi merupakan goyangan atau pergerakan tanah secara tiba-tiba yang disebabkan oleh pelepasan energi yang tersimpan lama di dalam bumi. Sebagai akibat dari kejadian gempa bumi, tidak jarang terjadi adanya korban jiwa dan kerugian materiil, maupun kerusakan-kerusakan infrastruktur. Oleh karena itu struktur bangunan di Indonesia harus direncanakan sedemikian rupa sehingga mampu menahan beban gempa yang ditimbulkan oleh pengaruh gempa bumi. (Setiawan, 2016)

Kondisi ini memberikan pengaruh besar dalam proses perencanaan sebuah bangunan maupun gedung di Indonesia. Terlebih lagi untuk gedung-gedung

bertingkat di wilayah dengan intensitas gempa tinggi yang mengharuskan didesain kuat memikul beban gempa.

Di Indonesia terdapat 3 (tiga) macam sistem struktur yang dipakai dalam mendesain suatu bangunan ataupun gedung, yaitu:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)  
Metode ini digunakan untuk perhitungan struktur gedung yang termasuk dalam zona 1 dan 2 yaitu wilayah tingkat gempa rendah.
2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)  
Metode ini digunakan untuk perhitungan struktur gedung yang termasuk dalam zona 3 dan 4 yaitu wilayah tingkat gempa sedang.
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)  
Metode ini digunakan untuk perhitungan struktur gedung yang termasuk dalam zona 5 dan 6 yaitu wilayah tingkat gempa tinggi.

### **2.3 Perencanaan Pembebanan**

Perencanaan pembebanan yang digunakan dalam Tugas Akhir ini mengacu peraturan-peraturan yang dikeluarkan oleh Pemerintah Indonesia, yakni SNI. Berikut adalah peraturan-peraturannya:

1. SNI 03-2847:2013 “Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung”.
2. SNI 03-1726:2012 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung”.
3. SNI 1727:2013 “Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain”.

#### **2.3.1 Pembebanan Struktur**

Mengacu beberapa peraturan diatas, struktur bangunan gedung harus direncanakan kuat menahan beban-beban berikut:

1. Beban Mati (*Dead Load*), mengacu SNI 1727:2013 pasal 3.
2. Beban Hidup (*Live Load*), mengacu SNI 1727:2013 pasal 4.
3. Beban Angin (*Wind Load*), mengacu SNI 1727:2013 pasal 26.
4. Beban Gempa (*Earthquake*), mengacu SNI 1726:2012.

#### **2.3.2 Definisi Pembebanan Struktur**

1. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta

peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran. Berikut beban-beban mati yang digunakan dalam desain:

**Tabel 2.2** Beban Mati (*Dead Load*)

Material	Beban Mati
Dinding Tembok Bata ½ Batu	250 kg/m <sup>3</sup>
Beton Bertulang	2400 kg/m <sup>3</sup>
Baja	7850 kg/m <sup>3</sup>
Penutup Lantai dari ubin semen, per cm tebal	24 kg/m <sup>2</sup>
<i>Plumbing</i>	10 kg/m <sup>2</sup>
Plafond + Peggantung	18 kg/m <sup>2</sup>
Mekanikal dan Elektrikal	25 kg/m <sup>2</sup>

(Sumber: SNI 1727:2013)

## 2. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Berikut beban-beban hidup yang digunakan dalam desain:

**Tabel 2.3** Beban Hidup (*Live Load*)

Penggunaan	Hidup (kg/m <sup>2</sup> )
Pelat Lantai (Beban Guna Bangunan)	250
Pelat Atap	100

(Sumber: SNI 1727:2013)

## 3. Beban Angin (*Wind Load*)

Bangunan gedung dan struktur lain, termasuk Sistem Penahan Beban Angin Utama (SPBAU) dan seluruh komponen dan klading gedung, harus dirancang dan dilaksanakan untuk menahan beban angin seperti yang ditetapkan menurut Pasal 26 sampai Pasal 31. Ketentuan dalam pasal ini mendefinisikan parameter angin dasar untuk digunakan dengan ketentuan lainnya yang terdapat dalam standar ini. Berikut prosedur pembebanan angin menurut SNI 1727:2013:

Kriteria pembebanan angin:

- Kategori Risiko Bangunan (Tabel 1.5-1)

**Tabel 2.4** Kategori Risiko Bangunan

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Semua Gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/ Rumah susun</li> <li>- Pusat Perbelanjaan/ Mall</li> </ul>	II

(Sumber: SNI 1727:2013)

- Faktor Kepentingan B. Angin,  $I_w$  (Tabel 1.5-2)

**Tabel 2.5** Faktor Kepentingan B. Angin,  $I_w$

Kategori Risiko Struktur:	Faktor kepentingan Angin, $I_w$
I	1.00
II	1.00
III	1.00
IV	1.00

(Sumber: SNI 1727:2013)

- Kecepatan Angin Dasar,  $V$  (Pasal 26.5.1)
- Faktor Arah Angin,  $K_d$  (Pasal 26.6)

**Tabel 2.6** Faktor Arah Angin,  $K_d$

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin, $K_d$
Bangunan Gedung: Sistem Penahan Beban Angin Utama	0.85
Komponen dan Klading Bangunan Gedung	0.85

(Sumber: SNI 1727:2013)

- Kategori Eksposur (Pasal 26.7.3)
- Faktor Topografi,  $Kzt$  (Pasal 26.8.2)  
Efek peningkatan kecepatan angin harus dimasukkan dalam perhitungan beban angin desain dengan menggunakan faktor  $Kzt$ . Jika kondisi situs dan lokasi gedung dan struktur bangunan lain tidak memenuhi semua kondisi yang disyaratkan dalam (Pasal 26.8.1),  $Kzt= 1,0$ .
- Faktor Pengaruh Tiupan Angin,  $G$  (Pasal 26.9.1)  
Untuk menentukan apakah suatu bangunan gedung atau struktur lain adalah kaku atau fleksibel sebagaimana didefinisikan dalam (Pasal 26.2), frekuensi alami fundamental,  $n1$ , harus ditetapkan menggunakan sifat struktural dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang dibuktikan secara benar. Bangunan bertingkat rendah, sebagaimana didefinisikan dalam (Pasal 26.2), diizinkan untuk dianggap kaku.
- Klasifikasi Ketertutupan (Pasal 26.10)  
Untuk menentukan koefisien tekanan internal, semua bangunan gedung harus diklasifikasikan sebagai bangunan tertutup, tertutup sebagian, atau terbuka seperti dijelaskan dalam (Pasal 26.2).
- Koefisien Tekanan Internal,  $GCpi$  (Pasal 26.11.1)  
Koefisien tekanan Internal, ( $GCpi$ ), harus ditentukan dari **Tabel 2.7** berdasarkan pada klasifikasi ketertutupan bangunan gedung ditentukan dari (Pasal 26.10). Berikut tabelnya:

**Tabel 2.7** Klasifikasi Ketertutupan

Klasifikasi Ketertutupan	( $GCpi$ )
Bangunan gedung terbuka	0,00
Bangunan gedung tertutup sebagian	+ 0,55
	- 0,55
Bangunan gedung tertutup	+ 0,18
	- 0,18

(Sumber: SNI 1727:2013)

- Koefisien Eksposur Tek. Velositas,  $Kz$  (Pasal 27.3.1)  
Berdasarkan kategori eksposur yang ditentukan dalam (Pasal 26.7.3), koefisien eksposur tekanan velositas  $Kz$  atau  $Kh$ , sebagaimana yang berlaku, harus ditentukan dari **Tabel 2.8**. Berikut tabelnya:

**Tabel 2.8** Koefisien Eksposur

Tinggi di atas level tanah, z		Eksposur		
ft	(m)	B	C	D
0-15	(0-4,6)	0,57	0,85	1,03
30	(9,1)	0,70	0,98	1,16
40	(12,2)	0,76	1,04	1,22
50	(15,2)	0,81	1,09	1,27
60	18.00	0,85	1,13	1,31
70	(21,3)	0,89	1,17	1,34
80	(24,4)	0,93	1,21	1,38

(Sumber: SNI 1727:2013)

- Tekanan Velositas,  $qz$  (Pasal 27.3.2)  
 Rumus Tekanan Velositas: (Pers. 27.3-1)  
 $qz = 0.613.Kz.Kzt.Kd.V^2$  (N/m<sup>2</sup>); V dalam m/s] (Rumus 2.1)

dimana:

$Kd$  = faktor arah angin, lihat (Pasal 26.6)

$Kz$  = koefisien eksposur tekanan velositas, lihat (Pasal 27.3.1)

$Kzt$  = faktor topografi tertentu, lihat (Pasal 26.8.2)

$V$  = kecepatan angin dasar, lihat (Pasal 26.5)

$qz$  = tekanan velositas dihitung menggunakan (Pers. 27.3-1) pada ketinggian  $z$

$qh$  = tekanan velositas dihitung menggunakan (Pers. 27.3-1) pada ketinggian atap rata-rata  $h$ .

- Koefisien Tekanan Eksternal,  $Cp$  (Gambar 27.4-1 lanjutan)  
 Dalam SNI 1727:2013, Koefisien Tekanan Eksternal,  $Cp$  ditunjukkan dalam gambar, namun dalam bab ini akan kami paparkan dalam bentuk **Tabel 2.9**. Berikut tabelnya:

**Tabel 2.9** Koefisien Tekanan Eksternal,  $C_p$ 

Koefisien Tekanan Dinding, $C_p$			
Permukaan	L/B	$C_p$	digunakan dengan
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	0.8	$qz$
Dinding di sisi angin pergi	0 - 1	-0.5	$qh$
	2	-0.3	
	$\geq 4$	-0.2	
Dinding tepi	Seluruh nilai	-0.7	$qh$

(Sumber: SNI 1727:2013)

dimana:

$B$ : Dimensi horizontal bangunan gedung, dalam feet (meter), diukur tegak lurus terhadap arah angin

$L$ : Dimensi horizontal bangunan gedung, dalam feet (meter), diukur sejajar terhadap arah angin

$h$ : Tinggi atap rata-rata dalam feet (meter), kecuali untuk sudut atap  $\theta \leq 10$  derajat digunakan tinggi bagian terbawah atap.

$z$ : Tinggi di atas permukaan tanah, dalam feet (meter)

$G$ : Faktor efek tiupan angin

$qz, qh$ : Tekanan velositas, dalam pounds per  $ft^2$  ( $N/m^2$ ), dievaluasi pada tinggi yang bersangkutan

- Beban Angin Desain Minimum SPBAU,  $P_{min}$  (Pasal 27.1.5)

$$\text{Area Dinding, } 0.77 \text{ kN/m}^2 = 78,52 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Area Atap, } 0.38 \text{ kN/m}^2 = 38,75 \text{ kg/m}^2$$

- Beban Angin,  $P$  (Pasal 27.4.1)

Bangunan Gedung Kaku Tertutup dan Tertutup Sebagian:

Tekanan angin desain untuk SPBAU bangunan gedung dari semua ketinggian harus ditentukan persamaan berikut: (Pers. 27.4-1)

Rumus Perhitungan beban angin:

$$P = qz \cdot G \cdot C_p - qz \cdot (G_{cpi}) \quad (\text{Rumus 2.2})$$

dimana:

$q = qz$  untuk dinding di sisi angin datang yang diukur pada ketinggian  $z$  di atas permukaan tanah



$q = qh$  untuk dinding di sisi angin pergi, dinding samping, dan atap yang diukur pada ketinggian  $h$

$q_i = qh$  untuk dinding di sisi angin datang, dinding samping, dinding di sisi angin pergi, dan atap bangunan gedung tertutup untuk mengevaluasi tekanan internal negatif pada bangunan gedung tertutup sebagian

$q_i = qz$  untuk mengevaluasi tekanan internal positif pada bangunan gedung tertutup sebagian bila tinggi  $z$  ditentukan sebagai level dari bukaan tertinggi pada bangunan gedung yang dapat mempengaruhi tekanan internal positif. Untuk bangunan gedung yang terletak di wilayah berpartikel terbawa angin, kaca yang tidak tahan impak atau dilindungi dengan penutup tahan impak, harus diperlakukan sebagai bukaan sesuai dengan (*Pasal 26.10.3*). Untuk menghitung tekanan internal positif,  $q_i$  secara konservatif boleh dihitung pada ketinggian  $h$  ( $q_i = qh$ )

$G$  = faktor efek-tiupan angin, lihat (*Pasal 26.9.1*)

$C_p$  = koefisien tekanan eksternal dari **Tabel 2.9**

( $GC_{pi}$ ) = koefisien tekanan internal dari (*Pasal 26.11.1*) dan **Tabel 2.7**.

#### 4. Beban Gempa (*Earthquake*)

Beban gempa merupakan beban yang diakibatkan percepatan getaran tanah pada saat terjadi gempa. Untuk mendesain struktur bangunan tahan gempa, perlu diketahui nilai percepatan batuan dasar. Berdasarkan peraturan SNI 1726:2012, wilayah Indonesia dibagi kedalam 6 wilayah zona gempa. Zona 1 dan 2 merupakan zona wilayah dengan gempa ringan, zona 3 dan 4 merupakan zona wilayah dengan gempa menengah dan zona 5 dan 6 merupakan zona wilayah dengan gempa tinggi.

Perencanaan beban gempa pada laporan ini menggunakan peraturan 1726:2012, "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung" dengan metode *Response Spectrum*.

Berikut langkah-langkahnya:

##### a. Informasi bangunan:

Material Struktur	: Beton Bertulang
Jenis Pemanfaatan	: Hotel
Lokasi Bangunan	: Tanjung Bena Bali

## b. Kategori resiko bangunan gedung

**Tabel 2.10a** Kategori Risiko Bangunan Gedung

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Gedung dan non gedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: Fasilitas Pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan Fasilitas sementara Gudang Penyimpanan Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua Gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi dibatasi untuk: Perumahan Rumah toko dan rumah kantor Pasar Gedung perkantoran Gedung apartemen/ Rumah susun Pusat Perbelanjaan/ Mall Bangunan Industri Fasilitas Manufaktur Pabrik	II
Gedung dan non gedung yang memiliki resiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: Bioskop Gedung Pertemuan Stadion Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki UGD Fasilitas penitipan anak Penjara Bangunan untuk orang jompo	III

(Sumber: SNI 03-1726:2012)

**Tabel 2.10b** Kategori Risiko Bangunan Gedung

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan struktur lainnya yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, tetapi tidak dibatasi, untuk: Bangunan monumental Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan Rumah Sakit dan Fasilitas kesehatan lainnya Fasilitas Pemadam kebakaran Tempat perlindungan terhadap bencana alam Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, dan pusat operasi Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan Rumah Sakit dan Fasilitas kesehatan lainnya Fasilitas Pemadam kebakaran Tempat perlindungan terhadap bencana alam Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, dan pusat operasi	IV

(Sumber: SNI 03-1726:2012)

c. Faktor Keutamaan Gempa,  $I_e$

Faktor keutamaan gempa, ( $I_e$ ) adalah faktor yang digunakan untuk mengamplifikasi beban gempa rencana. Faktor ini dapat ditentukan setelah diketahui jenis pemanfaatan apa yang digunakan untuk gedung atau bangunan yang telah didesain. Faktor keutamaan gempa disajikan dalam **Tabel 2.11** sebagai berikut:

**Tabel 2.11** Faktor Keutamaan Gempa, ( $I_e$ )

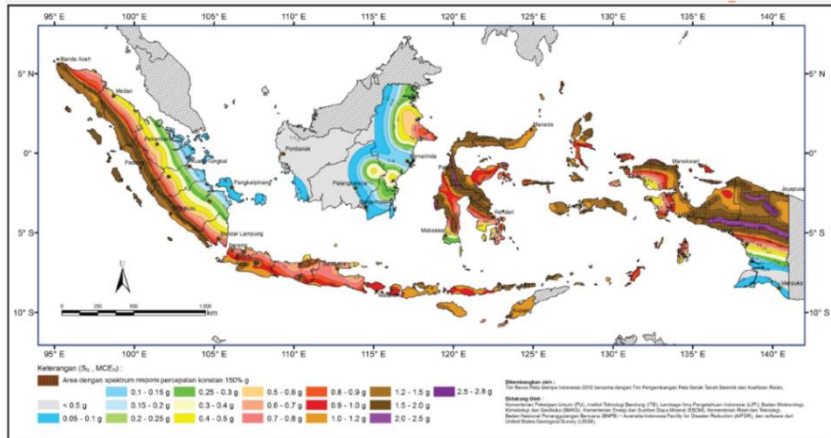
Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, ( $I_e$ )
I dan II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber: SNI 03-1726:2012)

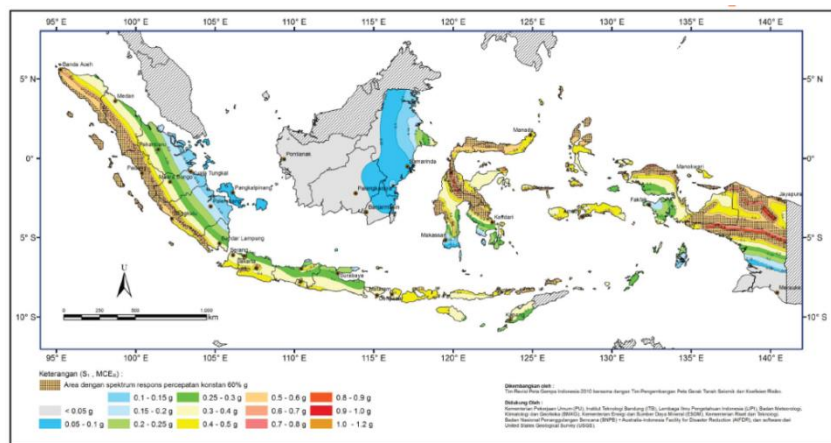
d. Parameter Percepatan Batuan Dasar

Parameter  $S_S$  (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan  $S_1$  (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-

masing dari respons spektral percepatan 0.2 detik dan 1 detik dalam peta gempa untuk periode ulang 2500 tahun. ([http://puskim.pu.go.id/aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/](http://puskim.pu.go.id/aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/)).



**Gambar 2.1** Peta Wilayah Gempa Indonesia yang dipertimbangkan resiko-tertarget (MCER-percepatan 0.2 detik, probabilitas 2% dalam 50 tahun)  
(Sumber: SNI 03-1726:2012)



**Gambar 2.2** Peta Wilayah Gempa Indonesia yang dipertimbangkan resiko-tertarget (MCER-percepatan 1 detik, probabilitas 2% dalam 50 tahun)  
(Sumber: SNI 03-1726:2012)

Berdasarkan gambar 2.1 dan gambar 2.2, maka selanjutnya berdasarkan nilai ( $S_s$ ) dan ( $S_I$ ) dapat ditentukan besarnya koefisien situs, ( $F_a$ ) dan ( $F_v$ ). Koefisien situs ( $F_a$ ) merupakan faktor amplifikasi getaran yang terkait percepatan pada getaran periode pendek, sedangkan Koefisien situs ( $F_v$ )

merupakan faktor amplifikasi terkait percepatan pada getaran periode 1 detik. Berikut adalah tabelnya:

**Tabel 2.12** Koefisien Situs, ( $F_a$ )

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, $S_s$				
	$S_s < 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s > 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1	1	1	1	1
SC	1,2	1,2	1,1	1	1
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	$SS^b$				

(Sumber: SNI 1726-2012)

**Tabel 2.13** Koefisien Situs, ( $F_v$ )

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan pada perioda pendek, $T=1,0$ detik, $S_1$				
	$S_1 < 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 > 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1	1	1	1	1
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	$SS^b$				

(Sumber: SNI 1726-2012)

Nilai ( $F_a$ ) dan ( $F_v$ ) selanjutnya digunakan untuk menghitung parameter respons percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan pada periode 1 detik ( $S_{M1}$ ), yang ditentukan berdasarkan rumus berikut:

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (\text{Rumus 2.3})$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (\text{Rumus 2.4})$$

dimana:

$S_s$  = Parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek.

$S_1$  = Parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1 detik.

$F_a$  = Koefisien situs pada **Tabel 2.12** untuk periode pendek.

$F_v$  = Koefisien situs pada **Tabel 2.13** untuk periode 1 detik.

Sehingga parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek ( $S_{DS}$ ) dan untuk periode 1 detik ( $S_{D1}$ ) dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$S_{DS} = 2/3 S_{MS} \quad (\text{Rumus 2.5})$$

$$S_{D1} = 2/3 S_{D1} \quad (\text{Rumus 2.6})$$

dimana:

SDS = Parameter respons spektral percepatan rencana pada periode pendek.

SD1 = Parameter respons spektral percepatan rencana pada periode 1 detik.

e. Menentukan Perioda

$$T_0 = 0,2 \times S_{D1} / S_{DS} \quad (\text{Rumus 2.7})$$

$$T_s = S_{D1} / S_{DS} \quad (\text{Rumus 2.8})$$

f. Menentukan Kategori Desain Seismik ( $KDS$ )

Langkah selanjutnya adalah menentukan jenis Kategori Desain Seismik ( $KDS$ ) berdasarkan hasil perhitungan (Rumus 2.5) dan (Rumus 2.6). Jenis Kategori Desain Seismik ( $KDS$ ) disajikan dalam **Tabel 2.14** dan **Tabel 2.15**. Berikut adalah tabelnya:

**Tabel 2.14** Kategori Desain Seismik Berdasarkan SDS

Nilai Sds	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$Sds < 0,167$	A	A
$0,167 \leq Sds < 0,33$	B	C
$0,33 \leq Sds < 0,50$	C	D
$0,50 \leq Sds$	D	D

(Sumber: SNI 1726-2012)

**Tabel 2.15** Kategori Desain Seismik berdasarkan Sd1

Sd1	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$Sd1 < 0,067$	A	A
$0,067 \leq Sd1 < 0,133$	B	C
$0,133 \leq Sd1 < 0,20$	C	D

$0,20 \leq Sd1$	D	D
-----------------	---	---

(Sumber: SNI 1726-2012)

g. Menentukan Sistem Struktur

Selanjutnya adalah menentukan sistem struktur yang dipakai pada bangunan yang didesain yang tersedia pada **Tabel 2.16**. Cara menentukan sistem struktur yang dipakai ialah berdasarkan hasil nilai terbesar yang didapatkan dari **Tabel 2.14** dan **Tabel 2.15**. Berikut keterangannya:

**Tabel 2.16** Pemilihan Sistem Struktur

SNI	Tingkat Resiko Gempa		
	Rendah	Menengah	Tinggi
1726:2012	KDS	KDS	KDS
	A, B	C	D, E, F
	menggunakan sistem struktur	menggunakan sistem struktur	menggunakan sistem struktur
	SRPMB/M/K	SRPM//K	SRPMK
	SDSB/K	SDSB/K	SDS/K

(Sumber: SNI 1726-2012)

h. Menentukan Parameter Struktur-nilai faktor R,  $C_d$ ,  $\Omega$

Langkah selanjutnya memilih sistem struktur yang dipakai dengan mengacu hasil terbesar dari **Tabel 2.17**. Berikut tabelnya:

**Tabel 2.17** Faktor R,  $\Omega$  dan  $C_d$  untuk Penahan Gaya Gempa Lanjutan

Sistem Penahan Gaya Seismik	R	$\Omega$	$C_d$
Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus	8	3	5,5
Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Menengah	5	3	4,5
Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Biasa	3	3	2,5

(Sumber: SNI 2847:2013)

i. Beban Gempa *Response Spectrum*

*Response Spectrum* merupakan suatu diagram hubungan antara percepatan respons maksimum suatu sistem akibat gempa tertentu, sebagai fungsi dari faktor redaman dan getar alami. Pada Tugas Akhir ini, dipakai data *Response Spectrum* Wilayah Bali dengan tanah sedang. Data *response spectrum* diambil dari situs [http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/). Berikut data-datanya:

**Tabel 2.18** *Response Spectrum* Bali

<i>Response Spectrum</i>	
Variabel	Nilai
PGA (g)	0.441
SS (g)	0.977
S1 (g)	0.36
CRS	1.053
CR1	0.952
FPGA	1.059
FA	1.109
FV	1.681
PSA (g)	0.467
SMS (g)	1.084
SM1 (g)	0.604
SDS (g)	0.722
SD1 (g)	0.403
T0 (detik)	0.112



TS (detik)	0.558
------------	-------

(Sumber: Puskim.go.id)

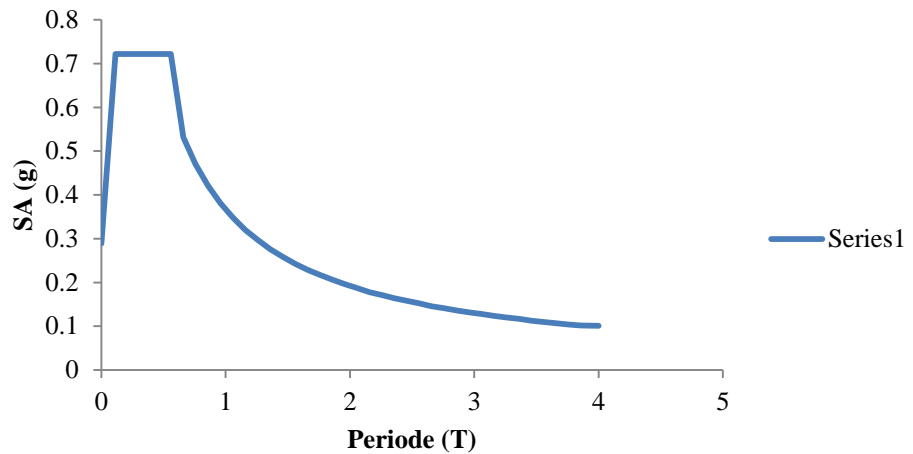
**Tabel 2.19** *Response Spectrum* Fungsi T dan g Bali

<i>Response Spectrum</i>	
T (detik)	SA (g)
0	0.289
0.112	0.722
0.558	0.722
0.758	0.47
0.958	0.381
1.158	0.32
1.358	0.276
1.558	0.243
1.758	0.217
1.958	0.196
2.158	0.178
2.358	0.164
2.558	0.152
2.658	0.146
2.758	0.141
2.858	0.136
2.958	0.132
3.058	0.128
3.158	0.124
3.258	0.12
3.358	0.117
3.458	0.113
3.558	0.11
3.658	0.107
3.758	0.104

3.858	0.102
4	0.101

(Sumber: Puskim.go.id)

## RS-Bali

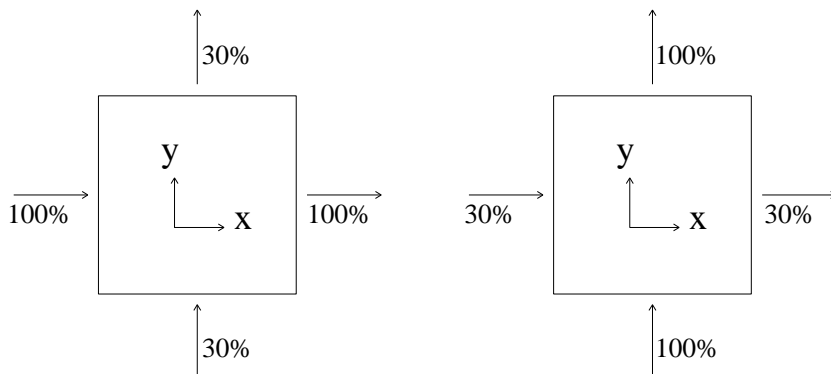


**Gambar 2.3** Grafik *Response Spectrum* Bali  
(Sumber: Hasil Perhitungan)

### 2.3.3 Arah Pembebanan Gempa

Dalam perencanaan struktur gedung tahan gempa, peninjauan terhadap arah gempa rencana harus ditentukan sedemikian rupa, sehingga pengaruh terbesar terhadap unsur-unsur sistem dan subsistem secara menyeluruh.

Pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama yang harus ditentukan efektif sebesar 100% dan dianggap pula terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa arah tegak lurus pada arah utama pembebanan tadi, namun efektifitasnya hanya 30%. Hal ini mengacu pada peraturan SNI 1726:2012.



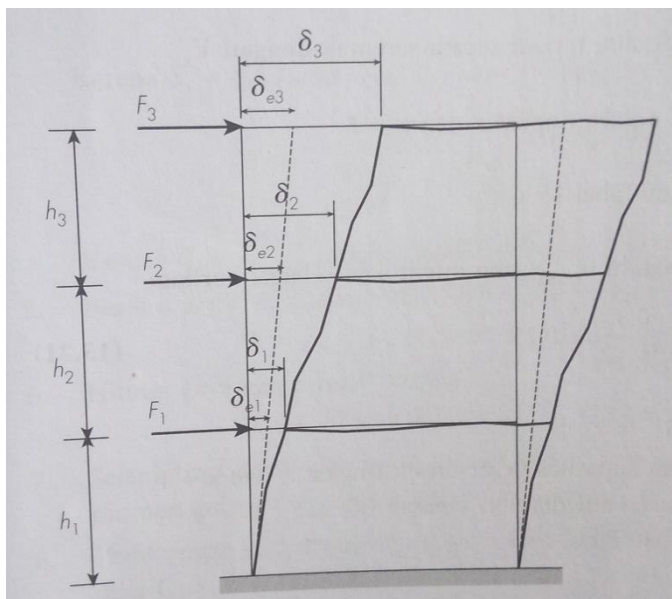
**Gambar 2.4** Arah Pembebanan Gempa

(Sumber: Hasil Olahahan Pribadi)

### 2.3.4 Simpangan Antar Lantai

Gaya gempa arah horisontal akan menghasilkan simpangan struktur pada arah horisontal. Oleh karena itu, simpangan antar lantai tingkat (*story drift*) harus diperiksa untuk menjamin stabilitas struktur, serta menjamin kenyamanan pengguna bangunan. penentuan simpangan antar lantai desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa ditingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Defleksi pusat massa di tingkat  $x$  ( $\delta_x$ ) harus dihitung dengan persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (\text{Rumus 2.9})$$



**Gambar 2.5** Simpangan Antar Lantai  
(Sumber: Agus Setiawan)

dimana:

Tingkat 3

F3 = gaya gempa desain kekuatan

$\delta_e 3$  = perpindahan elastis akibat gaya gempa desain kekuatan

$$\delta 3 = \frac{C_d \delta_e 3}{I_e} = \text{perpindahan yang diperbesar}$$

$$\Delta 3 = \frac{(\delta_e 3 - \delta_e 2) C_d}{I_e} < \Delta a$$

Tingkat 2

F2 = gaya gempa desain kekuatan

$\delta_e 2$  = perpindahan elastis akibat gaya gempa desain kekuatan

$$\delta 2 = \frac{C_d \delta_e 2}{I_e} = \text{perpindahan yang diperbesar}$$

$$\Delta 2 = \frac{(\delta_e 2 - \delta_e 1) C_d}{I_e} < \Delta a$$

Tingkat 1

F1 = gaya gempa desain kekuatan

$\delta_e 1$  = perpindahan elastis akibat gaya gempa desain kekuatan

$$\delta 1 = \frac{C_d \delta_e 1}{I_e} = \text{perpindahan yang diperbesar}$$

$$\Delta 1 = \frac{C_d \delta_e 1}{I_e} < \Delta a$$

Simpangan antar lantai desain ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat izin ( $\Delta a$ ) seperti dalam tabel dibawah ini:

**Tabel 2.20** Simpangan Antar Lantai Tingkat Izin,  $\Delta a$

Struktur	Kategori resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan	0,025hsx	0,020hsx	0,015hsx

sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.			
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010hsx	0,010hsx	0,010hsx
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007hsx	0,007hsx	0,007hsx
Semua struktur lainnya	0,020hsx	0,015hsx	0,007hsx

catatan: hsx adalah tinggi tingkat dibawah tingkat x

(Sumber: SNI 1726:2012)

## 2.4 Persyaratan Untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Dalam desain SRPMK perlu diperiksa menurut persyaratan-persyaratan yang telah ditentukan dalam SNI 2847:2013. Berikut beberapa persyaratannya:

### 2.4.1 Syarat Dimensi Penampang (Mengacu SNI 2847:2013 Pasal 21.5.1)

Komponen-komponen lentur dalam SRPMK harus memenuhi syarat-syarat dibawah ini:

- Gaya tekan aksial terfaktor,  $P_u < 0,1A_g f'_c$ . (Rumus 2.10)
- Panjang bersih,  $l_n \geq 4d$  (Rumus 2.11)
- Lebar penampang,  $b_w \geq 0,3h$  atau 250 mm (Rumus 2.12)
- lebar penampang,  $b_w \geq \frac{3}{4}$  dimensi kolom arah sejajar (Rumus 2.13)

### 2.4.2 Persyaratan Struktur Lentur (Mengacu SNI 2847:2013 Pasal 21.5.2)

#### A. Tulangan Longitudinal

Mengacu SNI 2847:2013 Pasal 21.5.2 “Tulangan Longitudinal” harus memenuhi persyaratan di bawah ini:

- Pasal 21.5.2.1 Jumlah tulangan atas maupun bawah tidak boleh kurang dari yang diberikan pers. (10-3) tetapi tidak kurang dari:

$$A_s \text{ min} = \frac{1,4 \times b \times d}{f_y} \quad (\text{Rumus 2.14})$$

- Pasal 21.5.2.2(1) Momen positif tidak boleh kurang dari setengah momen negatif yang disediakan pada muka join tersebut.

$$M(+)\geq \frac{1}{2} \times M(-) \quad (\text{Rumus 2.15})$$

Pasal 21.5.2.2(2) Sedikitnya harus disediakan dua buah tulangan menerus, baik di sisi atas maupun sisi bawah penampang.

- c. Pasal 21.5.2.3 Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur momen positif pada setiap penampang disepanjang bentang tidak boleh kurang dari  $\frac{1}{4}$  kuat lentur terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom tersebut.

$$M(+)\geq \frac{1}{4} M_{\max} \quad (\text{Rumus 2.16})$$

$$M(-)\geq \frac{1}{4} M_{\max} \quad (\text{Rumus 2.17})$$

- d. Sambungan lewatan pada tulangan lentur hanya diizinkan jika ada tulangan sengkang tertutup. Spasi sengkang  $< d/4$  atau 100 mm. (Rumus 2.18)

### **B. Tulangan Transversal (Mengacu SNI 2847:2013 Pasal 21.5.3)**

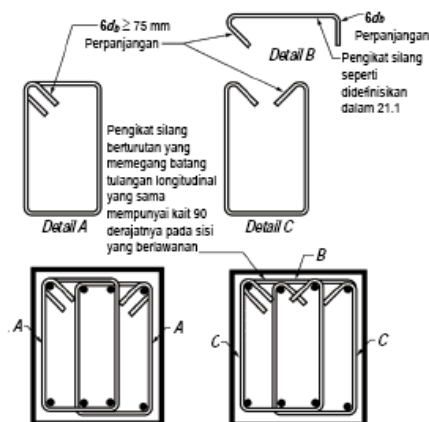
Dalam desain tulangan transversal balok SRPMK, diasumsikan seluruh beban geser dipikul oleh tulangan geser. Sehingga dalam desain tulangan geser harus diperhitungkan sedemikian rupa agar tulangan transversal mampu menahan gaya geser yang terjadi akibat beban gempa arah bolak-balik maupun gaya gravitasi struktur gedung itu sendiri.

Pada Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus, sendi plastis akan terbentuk pada ujung-ujung dari komponen lentur. Lokasi tersebut harus didetailkan secara khusus untuk memberikan jaminan terhadap daktilitas komponen lentur. Tulangan transversal yang dipasang dengan detail yang benar akan mampu memberikan kekangan lateral bagi tulangan lentur dan memberikan sumbangan pada beton untuk memikul gaya geser. (Setiawan, 2016)

Dalam desain SRPMK, maka tulangan transversal harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- a. Sengkang tertutup harus disediakan pada daerah hingga dua kali tinggi balok diukur dari muka tumpuan pada kedua ujung komponen struktur lentur. Selain itu sengkang tertutup juga harus dipasang disepanjang daerah dua kali tinggi balok pada kedua sisi dari suatu penampang, pada tempat yang diharapkan terjadi leleh lentur.
- b. Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan. Jarak antar sengkang tertutup tidak boleh melebihi dari nilai terkecil antara:
  - $d/4$
  - $6d_b$  (6 kali diameter tulangan memanjang terkecil)
  - 150 mm

- c. Pada daerah yang tidak memerlukan sengkang tertutup, sengkang dengan kait gempu pada kedua ujung harus dipasang dengan jarak tidak lebih dari  $d/2$  di sepanjang bentang komponen struktur lentur.



**Gambar 2.6** Contoh Sengkang Tertutup

(Sumber: SNI 2847:2013)

Rumus perhitungan geser balok SRPMK sebagai berikut:

$$V_u = \frac{(Mpr_1 + Mpr_2)}{L} \pm \frac{Qu \times L}{2} \quad (\text{Rumus 2.19})$$

dimana:

$$Mpr_1 = (As \times (1,25 \times fy) - A's \times f's) \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (\text{Rumus 2.20})$$

$$Mpr_2 = (A's \times f's) \times (d - d')$$

$$Qu = 1,2DL + LL \quad (\text{Rumus 2.22})$$

$$L = \text{Panjang bersih bentang balok}$$

- d. Pasal 21.5.4.1

Gaya Rencana Gaya geser rencana  $V_e$  harus ditentukan dari peninjauan gaya statik pada bagian komponen struktur antara dua muka tumpuan. Momen-momen dengan tanda berlawanan sehubungan dengan kuat lentur maksimum,  $Mpr$ , harus dianggap bekerja pada muka-muka tumpuan, dan komponen struktur tersebut dibebani dengan beban gravitasi terfaktor disepanjang bentangnya. Pasal 21.5.4.2  $V_c = 0$  Jika:

- Gaya geser maksimum yang diakibatkan oleh gempa lebih besar daripada 50% gaya geser total.

$$V_{gempa} > 50\% V_{total} \quad (\text{Rumus 2.23})$$

$$- \text{ Gaya tekan aksial} < \frac{A_g \times f'_c}{20} \quad (\text{Rumus 2.24})$$

### 2.4.3 Komponen Pemikul Lentur dan Gaya Aksial pada SRPMK

#### A. Persyaratan Umum (Mengacu SNI 2847:2013 pasal 21.6.1)

Persyaratan dari subpasal ini berlaku untuk komponen struktur rangka momen khusus yang membentuk bagian sistem penahan gaya gempa dan yang menahan gaya tekan aksial terfaktor  $P_u$  akibat sebarang kombinasi beban yang melebihi  $A_g f'_c / 10$ . Komponen struktur rangka ini harus juga memenuhi kondisi-kondisi dari 21.6.1.1 dan 21.6.1.2.

- a. Pasal 21.6.1.1 Dimensi penampang terpendek, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak boleh kurang dari 300 mm.
- b. 21.6.1.2 Rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi tegak lurus tidak boleh kurang dari 0,4.

#### B. Persyaratan Tulangan Lentur (Mengacu SNI 2847:2013 pasal 21.6.2)

Kuat lentur dari elemen kolom SRPMK harus memenuhi persyaratan berikut:

$$\sum M_{nc} \geq \frac{6}{5} \sum M_{nb} \quad (\text{Rumus 2.25})$$

dimana:

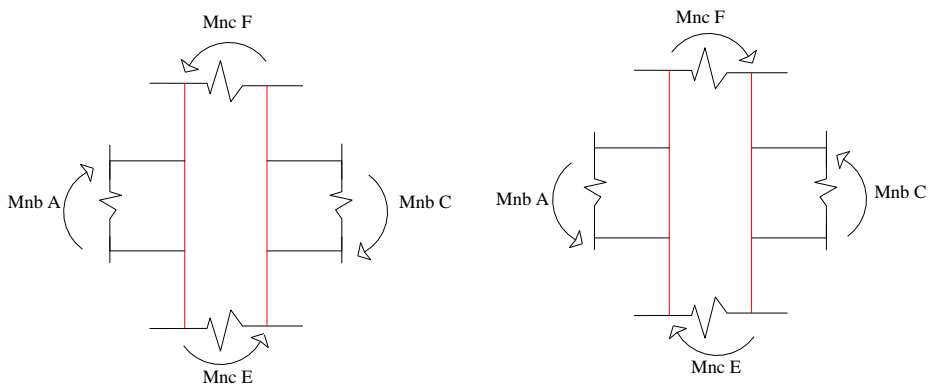
$\sum M_{nc}$  = Jumlah kuat lentur nominal kolom yang merangka pada suatu hubungan balok-kolom (HBK). Kuat lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor yang sesuai dengan arah gaya-gaya lateral yang ditinjau yang menghasilkan nilai kuat lentur yang terkecil.

$\sum M_{nb}$  = Jumlah kuat lentur nominal balok yang merangka pada suatu hubungan balok-kolom (HBK).

Pendekatan ini seiring dikenal sebagai konsep **kolom kuat–balok lemah** (*strong column weak beam*). Dengan menggunakan konsep ini diharapkan bahwa kolom tidak akan mengalami kegagalan terlebih dahulu sebelum balok. Tulangan lentur harus dipilih sedemikian sehingga persamaan diatas terpenuhi. Sedangkan rasio tulangan harus dipilih sehingga terpenuhi syarat:

$$1\% \leq \rho_g \leq 6\% \quad (\text{Rumus 2.26})$$





**Gambar 2.7** Konsep *Strong Column Weak Beam*  
(Sumber: Dokumen Tugas Pribadi)

**C. Persyaratan Tulangan transversal (Mengacu SNI 2847:2013 pasal 21.6.4)**

Ketentuan mengenai jumlah tulangan transversal Pasal 21.6.4.4:

- a. Rasio volumetrik tulangan spiral atau sengkang cincin  $\rho_s$ , tidak boleh kurang dari:

$$\rho_s = 0,12 \times \frac{f'_c}{f_y} \quad (\text{Rumus 2.27})$$

Dan tidak boleh kurang dari:

$$\rho_s = 0,45 \times \left( \frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \times \frac{f'_c}{f_y} \quad (\text{Rumus 2.28})$$

Dengan  $f_y$  adalah kuat leleh tulangan spiral, tidak boleh diambil lebih dari 400 MPa.

- b. Luas total penampang sengkang tertutup persegi tidak boleh kurang dari:

$$A_{sh} = 0,3 \times \left( \frac{s x b c x f'_c}{f_y} - 1 \right) \left[ \frac{A_g}{A_c} - 1 \right] \quad (\text{Rumus 2.29})$$

$$A_{sh} = 0,09 \times \left( \frac{s x b c x f'_c}{f_y} - 1 \right) \quad (\text{Rumus 2.30})$$

- c. Tulangan transversal harus berupa sengkang tunggal atau tumpuk. Tulangan pengikat silang dengan diameter dan spasi yang sama dengan diameter dan spasi sengkang tertutup boleh dipergunakan. Tiap ujung tulangan pengikat silang harus terikat pada tulangan longitudinal terluar. Pengikat silang yang

berurutan harus ditempatkan secara berselang-seling berdasarkan bentuk kait ujungnya.

- d. Bila tebal selimut beton di luar tulangan transversal pengekan melebihi 100 mm, tulangan transversal tambahan perlu dipasang dengan spasi tidak melebihi 300 mm. Tebal selimut di luar tulangan transversal tambahan tidak boleh melebihi 100 mm.
- e. Pasal 21.6.4.3 Spasi tulangan transversal sepanjang panjang  $L_o$  komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil dari:
  - $\frac{1}{4}$  dimensi komponen struktur minimum
  - 6 kali diameter tulangan longitudinal yang terkecil

$$- 100 \text{ mm} \geq s_o = 100 + \left( \frac{350 - hx}{3} \right) \quad (\text{Rumus 2.31})$$

Nilai  $s_o$  tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu diambil kurang dari 100 mm.

- f. Tulangan transversal harus didesain memikul gaya geser rencana,  $V_s$ , yang ditentukan menggunakan kuat momen maksimum,  $M_{pr}$ , dari komponen struktur tersebut yang terkait dengan rentang beban-beban aksial terfaktor yang bekerja,  $P_u$ .

$$V_e = \frac{M_{pr} a + M_{pr} b}{I_c} \quad (\text{Rumus 2.32})$$



Dimensi  $x$  dari garis pusat ke garis pusat kaki-kaki pengikat tidak melebihi 350 mm. Rumus  $A_s$  yang digunakan dalam persamaan 21-2 diambil sebagai nilai terbesar dari  $x$ .

**Gambar 2.8** Contoh Tulangan Transversal pada Kolom

(Sumber: SNI 2847:2013)

#### **2.4.4 Hubungan Balok-Kolom pada SRPMK**

Hubungan balok-kolom dalam struktur dengan desain SRPMK sangatlah rawan terhadap resiko kegagalan struktur. Oleh karena itu, dalam pertemuan balok-kolom harus dilakukan pendekatan khusus dan diperhitungkan dengan detail serta perlunya dipasang tulangan transversal untuk menahan gaya-gaya yang terjadi ketika struktur bangunan tersebut berdeformasi akibat beban gempa.

##### **A. Persyaratan Umum (Mengacu SNI 2847:2013 Pasal 21.7.2)**

- a. Gaya-gaya pada tulangan longitudinal balok di muka hubungan balok-kolom harus ditentukan dengan menganggap bahwa tegangan pada tulangan tarik lentur adalah  $1,25f_y$ .
- b. Kuat hubungan balok-kolom harus direncanakan menggunakan faktor reduksi kekuatan.
- c. Tulangan longitudinal balok yang berhenti pada suatu kolom harus diteruskan hingga mencapai sisi jauh dari inti kolom terkekang.
- d. Bila tulangan longitudinal balok diteruskan hingga melewati hubungan balok-kolom, dimensi kolom dalam arah paralel terhadap tulangan longitudinal balok tidak boleh kurang daripada 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok untuk beton berat normal. Bila digunakan beton ringan maka dimensi tersebut tidak boleh kurang daripada 26 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok.

##### **B. Persyaratan Tulangan Transversal (Mengacu SNI 2847:2013 Pasal 21.7.3)**

- a. Tulangan berbentuk sengkang tertutup harus dipasang dalam daerah hubungan balok-kolom, kecuali bila hubungan balok-kolom tersebut dikekang oleh komponen-komponen struktur.
- b. Pada hubungan balok-kolom dimana balok-balok, dengan lebar setidaknya tidaknya sebesar  $\frac{3}{4}$  lebar kolom, merangka pada keempat sisinya, harus dipasang tulangan transversal setidaknya tidaknya sejumlah  $\frac{1}{2}$  dari yang ditentukan. Tulangan transversal ini dipasang di daerah hubungan balok-kolom disetinggi balok terendah yang merangka ke hubungan tersebut. Pada daerah tersebut, spasi tulangan transversal dapat diperbesar menjadi 150 mm.
- c. Pada hubungan balok-kolom, dengan lebar balok lebih besar daripada kolom, tulangan transversal harus dipasang pada hubungan tersebut untuk memberikan kekangan terhadap tulangan longitudinal balok yang berada

diluar daerah inti kolom, terutama bila kekangan tersebut tidak disediakan oleh balok yang merangka pada tulangan tersebut.

### C. Kuat Geser (Mengacu SNI 2847:2013 Pasal 21.7.4)

a. Kuat geser nominal hubungan balok-kolom tidak boleh diambil lebih besar daripada ketentuan berikut ini untuk beton berat normal.

- Untuk HBK yang terkekang pada keempat sisinya:

$$1,7. \sqrt{f'c} .A_j \quad (\text{Rumus 2.33})$$

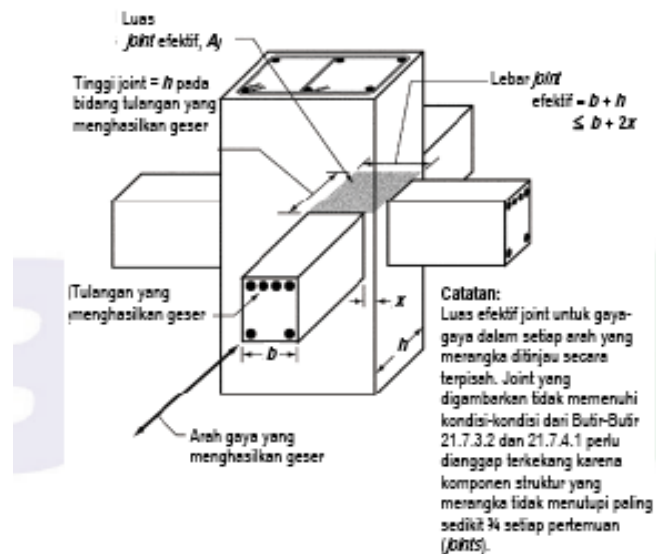
- Untuk hubungan yang terkekang pada ketiga sisinya atau dua sisi yang berlawanan:

$$1,25. \sqrt{f'c} .A_j \quad (\text{Rumus 2.34})$$

- Untuk hubungan lainnya:

$$1,0. \sqrt{f'c} .A_j \quad (\text{Rumus 2.35})$$

Luas efektif hubungan balok-kolom  $A_j$  ditunjukkan pada Gambar 2.9.



**Gambar 2.9** Luas Joint Efektif Hubungan Balok-Kolom

(Sumber: SNI 2847:2013)

Suatu balok yang merangka pada suatu balok-kolom dianggap memberikan kekangan bila setidaknya-tidaknya  $\frac{3}{4}$  bidang muka hubungan balok-kolom

tersebut tertutupi oleh balok yang merangka tersebut. Hubungan balok kolom dapat dianggap terkekang bila ada empat balok merangka pada keempat sisi hubungan balok-kolom tersebut.

Untuk beton ringan, kuat geser nominal hubungan balok-kolom tidak boleh diambil lebih besar daripada  $\frac{3}{4}$  nilai-nilai yang diberikan oleh ketentuan kuat geser.

Dalam analisa hubungan balok-kolom akan ditinjau pengaruh gaya gempa bolak-balik dari arah x dan y. Perhitungan besarnya momen pada setiap penampang akan dapat dihitung dengan perhitungan balok tulangan tunggal maupun balok tulangan rangkap. Dan dalam tugas akhir ini disajikan perhitungan HBK dengan konsep perhitungan balok tulangan rangkap.

$$Mn_1 = (A_s \cdot 1,25 f_y - A' s \cdot f' s) x \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (\text{Rumus 2.36})$$

$$Mn_2 = (A' s \cdot f' s) x (d - d') \quad (\text{Rumus 2.37})$$

$$Mn = Mn_1 + Mn_2 \quad (\text{Rumus 2.38})$$

dimana:

$a$  = luas keseluruhan tulangan tarik ( $\text{mm}^2$ );

$A_s$  = luas tulangan tarik ( $\text{mm}^2$ )

$A' s$  = luas tulangan tekan ( $\text{mm}^2$ )

$f_y$  = kuat tarik baja (Mpa)

$f' s$  = tegangan leleh tulangan (Mpa)

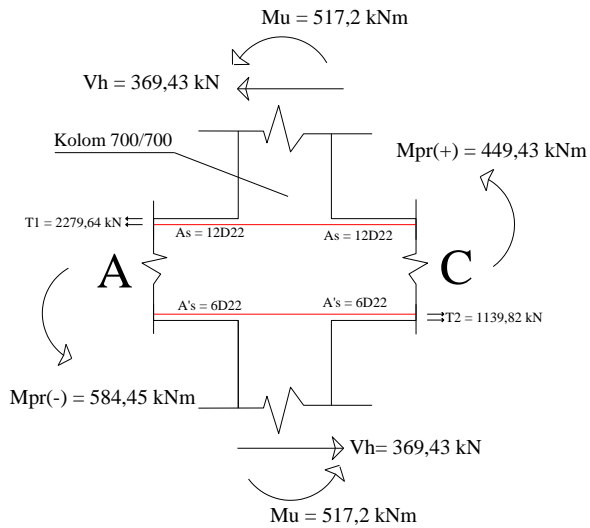
$T$  = kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh beton

$M_n$  = momen nominal dari beton (N.mm)

$d'$  = jarak dari serat tekan terluar ke titik pusat tulangan tekan (mm)

$d$  = jarak dari serat tekan terluar ke titik pusat tulangan tarik (mm)

Konsep dasar gaya-gaya geser dalam hubungan balok-kolom:



**Gambar 2.10** Gaya- Gaya Dalam Arah Balok X  
(Sumber: Dokumen Tugas Pribadi)

Akan didapat gaya geser didalam Hubungan Balok Kolom berdasarkan tulangan yang terpasang. Berikut rumus perhitungannya:

$$V_{x-x} = T1 + T2 - V_h \quad (\text{Rumus 2.39})$$

$$T1 = A_{s1} \times 1,25f_y \quad (\text{Rumus 2.40})$$

$$T2 = A_{s2} \times 1,25f_y \quad (\text{Rumus 2.41})$$

dimana :

$V_h$  = gaya geser pada kolom (N)

$T$  = kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh beton (N.mm)

$A_s$  = luas tulangan tarik ( $\text{mm}^2$ )

$f_y$  = kuat tarik tulangan (Mpa)

$V_h$  gaya geser dikolom dihitung dari Mpr kedua ujung balok yang menyatu di HBK. Dalam hal ini, karena panjang kolom atas dan bawah adalah sama, maka masing- masing ujung kolom memikul jumlah Mpr balok- balok sama besarnya ( $Mu$ ).

$$Mu = \frac{(Mpr+) + (Mpr-)}{2} \quad (\text{Rumus 2.42})$$

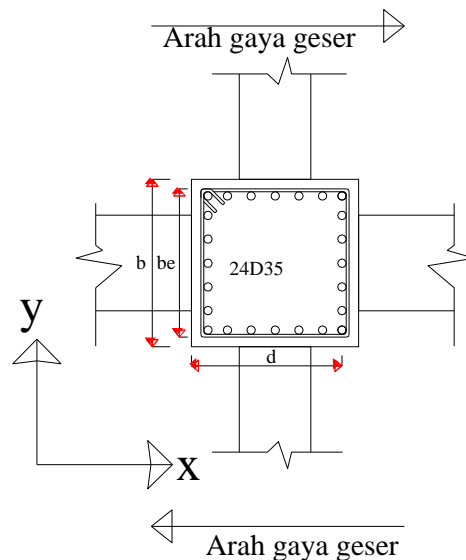
sehingga;

$$Vh = \frac{2M_u}{h/2} \quad (\text{Rumus 2.43})$$

dimana:

- $M_u$  = momen ultimit (Nmm)  
 $M_{pr}$  = Kekuatan lentur mungkin komponen struktur (kNm)  
 $V_h$  = gaya geser pada kolom (n)  
 $h$  = tinggi bersih kolom (m)

Luas Efektif pada inti sambungan, berdasarkan arah geser pada sambungan berdasarkan balok yang ditinjau.



**Gambar 2.11** Luas Daerah Geser Efektif pada Inti Sambungan  
(Sumber: Dokumen Tugas Pribadi)

dimana:

$b$  = Untuk pengurangan yang cukup;

$be$  = Untuk kurungan yang tak cukup oleh balok Arah  $y$ .

Untuk pertemuan ini, balok- balok arah  $y$  memiliki lebar balok ( $b_w$ )  $> \frac{3}{4}$  lebar kolom, sehingga memberikan efek kurungan saat terjadi perpindahan geser pada balok arah  $X$ . Maka dari itu akan digunakan Luasan Efektif  $A_{cv}$ :

$$A_{cv} = b \times d \quad (\text{Rumus 2.44})$$

$$V_n = \frac{V_u}{A_{cv} \times \phi} \quad (\text{Rumus 2.45})$$

$$V_c = \frac{\left( \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \times \left( 1 + \frac{Nu}{14A_g} \right) \times b_w \times d \right)}{A_{cv}} \quad (\text{Rumus 2.46})$$

dimana:

- $V_u$  = gaya geser terfaktor pada suatu penampang (N);
- $V_n$  = gaya nominal geser (N);
- $V_c$  = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton (N);
- $A_{cv}$  = Luas tulangan geser (dua kaki) ( $\text{mm}^2$ );
- $b_w$  = lebar penampang balok (mm);
- $d$  = jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm);
- $\phi$  = faktor reduksi kekuatan;
- $N_u$  = gaya aksial kolom (kNm);
- $A_g$  = luas penampang bruto ( $\text{mm}^2$ ).

Oleh karena  $V_n > V_c$ , dibutuhkan tulangan geser. Penulangan geser yang dibutuhkan dapat direncanakan dengan :

$$A_v = \frac{V_s \times s}{f_y \times d} = \frac{(V_n - V_c) \times b_e \times d \times s}{f_y \times d} \quad (\text{Rumus 2.47})$$

$$\frac{A_v}{S} = \frac{(V_n - V_c) \times b_e \times}{f_y} \quad (\text{Rumus 2.48})$$

dimana:

- $V_s$  = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser (kN)
- $V_n$  = gaya nominal geser (N)
- $V_c$  = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton (N)
- $A_v$  = Luas tulangan geser (dua kaki) ( $\text{mm}^2$ )
- $b_e$  = lebar penampang balok (mm)
- $d$  = jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm)
- $s$  = jarak spasi tulangan (mm)
- $f_y$  = kuat tarik tulangan (Mpa)

Untuk HBK yang terkekang keempat sisinya berlaku kuat geser nominal.

$$\phi(V_c) = 0,75 \times 1,7 \times A_g \times \sqrt[2]{f'c} \quad (\text{Rumus 2.49})$$



$$\emptyset(V_c) > V_{x-x}$$

(Rumus 2.50)

## 2.5 Analisis *Pushover*

Dalam mengevaluasi suatu bangunan ataupun gedung bertingkat, terdapat beberapa macam cara maupun metode, salah satu metode yang digunakan untuk mengevaluasi adalah Analisis *Pushover*. Analisa statik nonlinier merupakan prosedur analisa untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa, dikenal pula sebagai analisa *pushover* atau analisa beban dorong statik. Kecuali untuk suatu struktur yang sederhana, maka analisa ini memerlukan komputer program untuk dapat merealisasikannya pada bangunan nyata. Beberapa program komputer komersil yang tersedia adalah SAP2000, ETABS, GTStrudl, Adina. (Wiryanto Dewobroto, 2005)

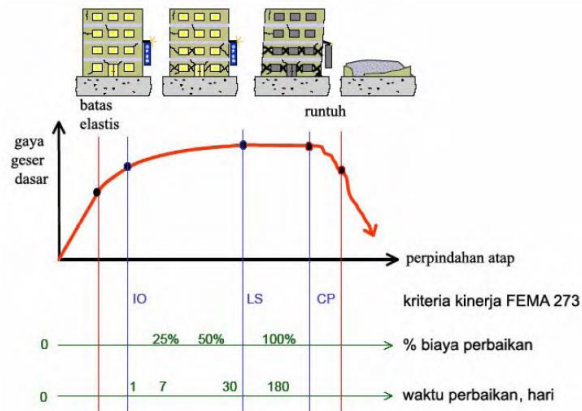
Analisis *Pushover* menghasilkan kurva *Pushover* yang menggambarkan hubungan antara gaya-gaya geser dasar ( $V$ ) dengan perpindahan titik acuan pada atap ( $D$ ). (Wiryanto Dewobroto, 2005)

Tujuan dari analisis *Pushover* ialah mengevaluasi perilaku seismik struktur terhadap beban gempa rencana, yaitu memperoleh nilai faktor daktilitas aktual dan faktor reduksi gempa actual struktur, memperlihatkan kurva kapasitas (*capacity curve*), dan memperlihatkan skema kelelahan (*distribusi sendi plastis*) yang terjadi. (Pranata, 2006)

Menurut Fema 273/356, terdapat 4 level kinerja struktur bangunan. antara lain:

- a. *Fully Operational (FO)*: Kondisi dimana tidak ada kerusakan sama sekali pada struktur dan non-struktur bangunan, sehingga bangunan masih bisa beroperasi langsung setelah gempa terjadi (*damage state*).
- b. *Imidiatety Occupancy (IO)*: Kondisi dimana struktur bangunan secara umum masih aman untuk kegiatan operasional setelah gempa terjadi (*damage state*). Ada kerusakan yang kecil, namun proses perbaikan tidak akan mengganggu pemakai bangunan. Sehingga pada level ini bangunan kurang lebih dapat langsung dipakai.
- c. *Life Safety (LS)*: Kondisi dimana struktur bangunan mengalami kerusakan menengah (*damage scale*), kekakuan berkurang namun masih aman dan stabil melindungi pemakai bangunan. Diperlukan perbaikan, dan setelah perbaikan selesai bangunan dapat digunakan kembali (*operational state*).
- d. *Collapse Prevention (CP)*: Kondisi dimana struktur bangunan mengalami kerusakan berat (*severe*), kekuatan dan kekakuan struktur berkurang tetapi bangunan masih berdiri, tidak runtuh. Elemen-elemen non-struktur runtuh. Pada kondisi ini bangunan tidak dapat dipakai (*operational state*).

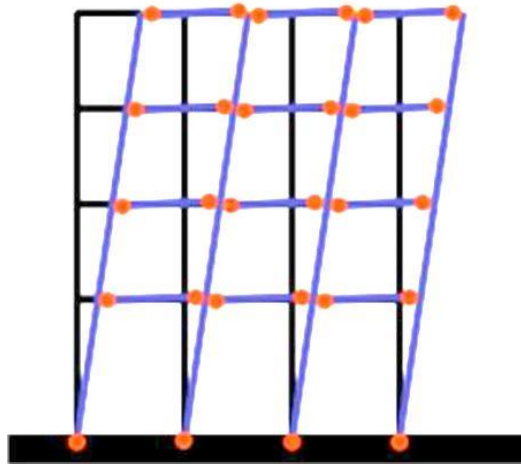
Sehingga dalam merencanakan sebuah bangunan, struktur maupun non-struktur diharapkan minimal berada pada level *Life Safety (LS)* karena ketika berlangsungnya gempa bangunan tidak mengalami kerusakan yang berarti. Berikut ilustrasi gambar 4 macam level kinerja struktur menurut Fema 273:



**Gambar 2.12** Ilustrasi Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja Struktur  
(Sumber: Wiryanto Dewobroto, 2005)

Pada struktur beton bertulang, terdapat tempat-tempat yang merupakan terjadinya kelelahan akibat beban-beban yang bekerja. tempat-tempat tersebut adalah di ujung-ujung balok dan di dasar kolom, tempat tersebut yang disebut sebagai sendi plastis. Dimana sendi-sendi plastis pada beton bertulang dirancang sedemikian rupa sehingga kelelahan pertama terjadi pada balok kemudian menyebar menuju kolom. Perlu diketahui, ada 2 mekanisme kelelahan yang terjadi pada suatu struktur bangunan, antara lain:

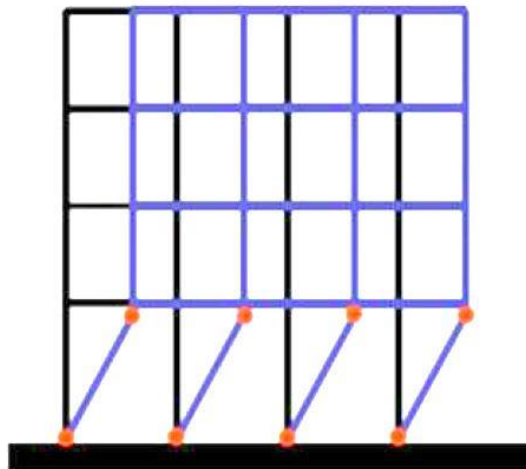
- Mekanisme kelelahan pada balok (*Beam Sideway Mechanism*), adalah kondisi dimana sendi-sendi plastis terbentuk pada ujung-ujung balok pada suatu sistem struktur bangunan yang merupakan akibat dari kuatnya kolom (*Strong Column Weak Beam*).



**Gambar 2.13** Mekanisme Keruntuhan Balok

(Sumber: Dian Purnia Sari, “Analisis Kinerja Struktur Atas Dengan Menggunakan Metode Pushover Pada Perencanaan Gedung Rumah Sakit 7 Lantai Di Mojokerto”, Tugas Akhir Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya)

- Mekanisme kelelahan pada kolom (*Column Sideway Mechanism*), adalah kondisi dimana sendi-sendi plastis terbentuk pada dasar kolom pada suatu struktur bangunan yang merupakan akibat dari kuatnya balok-balok daripada kolom (*Strong Beam Weak Column*).



**Gambar 2.14** Mekanisme Keruntuhan Kolom

*(Sumber: Dian Purnia Sari, “Analisis Kinerja Struktur Atas Dengan Menggunakan Metode Pushover Pada Perencanaan Gedung Rumah Sakit 7 Lantai Di Mojokerto”, Tugas Akhir Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya)*

Sehingga, dalam mendesain dan menganalisa bangunan diharuskan kolom-kolom lebih kuat daripada balok agar apabila terjadi gempa keruntuhan pertama akan terjadi pada balok-balok dan membuat pemakai maupun penghuni bangunan selamat dari bahaya.